

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07245251 A**(43) Date of publication of application: **19.09.95**

(51) Int. Cl. **H01L 21/027**
G02B 27/18
G03F 7/20
G03F 9/00

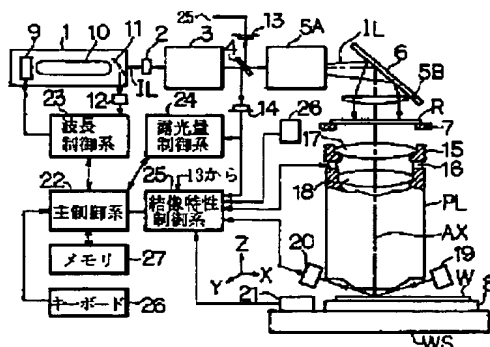
(21) Application number: **06032356**(71) Applicant: **NIKON CORP**(22) Date of filing: **02.03.94**(72) Inventor: **TANIGUCHI TETSUO**(54) **PROJECTION ALIGNER**

(57) Abstract:

PURPOSE: To prevent the imagery characteristics other than the prescribed imagery characteristics out of imagery characteristics, which are required as an aligner, from being deteriorated in the case where the prescribed imagery characteristics are changed by a prescribed amount by changing the wavelength of illuminating light.

CONSTITUTION: Illuminating light IL, which is emitted from an excimer laser beam source 1, illuminates a reticle R through a relay optical system 5A, a capacitor lens 5B and the like and a pattern on the reticle R is exposed on a wafer W via a projection optical system PL. When the wavelength of the light IL is changed by a wavelength control part 23 and the magnification of the system P1 is changed, the positions of lens elements 17 in the system PL are changed via an imagery character-characteristic control system 25, whereby a distortion of the system PL is prevented from being deteriorated.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-245251

(43) 公開日 平成7年(1995)9月19日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 2 B 27/18		Z		
G 0 3 F 7/20	5 2 1			
9/00		H		
		7352-4M		
			H 0 1 L 21/ 30	5 2 6 B
			審査請求 未請求	請求項の数3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平6-32356

(22) 出願日 平成6年(1994)3月2日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 谷口 哲夫

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

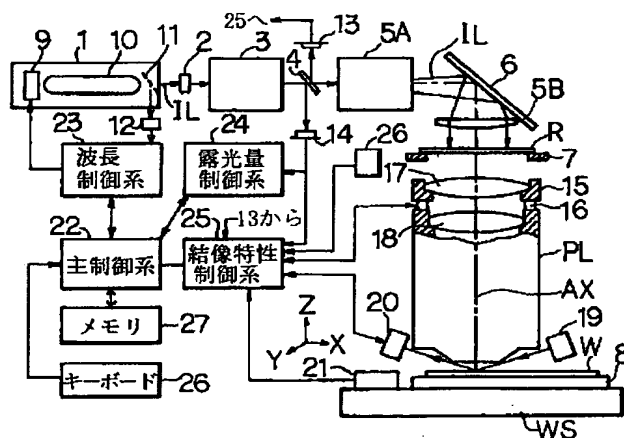
(74) 代理人 弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 投影露光装置

(57) 【要約】

【目的】 照明光の波長を変化させることにより、所定の結像特性を所定量だけ変化させる場合に、露光装置として必要な他の結像特性を悪化さない。

【構成】 エキシマレーザ光源1から射出される照明光ILが、リレー光学系5A及びコンデンサーレンズ5B等を経てレチクルRを照明し、レチクルRのパターンが投影光学系PLを介してウエハW上に露光される。波長制御系23により照明光ILの波長を変えて投影光学系PLの倍率を変える際に、結像特性制御系25を介して投影光学系PL内のレンズエレメント17の位置を変えることにより、投影光学系PLのディストーションが悪化しないようにする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 照明光を生成する光源と、前記照明光でマスクパターンを照明する照明光学系と、前記マスクパターンの像を感光剤が塗布された基板上に投影する投影光学系と、前記光源で生成される照明光の波長を変化させる波長可変手段と、を有し、前記投影光学系の所定の結像特性を変化させるために前記波長可変手段を介して前記照明光の波長を変化させる投影露光装置において、前記感光剤の分光感度特性を入力する感度特性入力手段と；該感度特性入力手段により入力された分光感度特性、及び前記波長可変手段により設定された前記照明光の波長に基づいて前記基板への露光量を制御する露光量制御手段と；を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2】 前記露光量制御手段は、前記照明光学系中で前記照明光の一部を分離する光束分離手段と；該光束分離手段により分離された照明光を光電変換する光電検出手段と；前記光束分離手段の波長毎の光束分離特性を入力する分離特性入力手段と；該分離特性入力手段により入力された光束分離特性、及び前記波長可変手段により設定された前記照明光の波長に基づいて、前記光電検出手段で検出された光量を補正する演算手段と；を有することを特徴とする請求項 1 記載の投影露光装置。

【請求項 3】 照明光を生成する光源と、前記照明光でマスクパターンを照明する照明光学系と、前記マスクパターンの像を感光剤が塗布された基板上に投影する投影光学系と、前記光源で生成される照明光の波長を変化させる波長可変手段と、を有し、前記投影光学系の所定の結像特性を変化させるために前記波長可変手段を介して前記照明光の波長を変化させる投影露光装置において、前記投影光学系の前記所定の結像特性と異なる結像特性を補正する結像特性補正手段と；前記照明光が前記投影光学系を通過することによる、前記結像特性補正手段により補正対象とされる前記投影光学系の結像特性の波長毎の変化量の特性を入力する分光特性入力手段と；該分光特性入力手段により入力された前記投影光学系の結像特性の波長毎の変化量の特性、及び前記波長可変手段により設定された前記照明光の波長に基づいて、前記結像特性補正手段を介して前記投影光学系の結像特性を補正する制御手段と；を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えば半導体集積回路や液晶表示デバイス等を製造する際に使用される投影露光装置に関し、特に照明光の波長を変化させることにより投影光学系の結像特性を制御する機能を有する投影露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程で使用される高い解像度を有

する投影露光装置においては、種々の要因で投影光学系による投影像の結像特性が変化したときに、その結像特性の変化量を相殺するような補正することにより、その結像特性を所定の状態に良好に維持するための結像特性補正手段が備えられている。斯かる結像特性の変化要因としては、例えば大気圧変化、気温変化、湿度変化、あるいは投影光学系における照明光の吸収による温度上昇等が考えられる。

【0003】 また、一般に半導体素子等はウエハ（又はガラスプレート）上に多数層の回路パターンを重ねて露光することにより形成されるものである。そこで、例えば或る露光装置で露光された層の上に、重ねて別の露光装置を用いて回路パターンを露光する場合の重ね合わせ精度を高く維持するために、上述の結像特性補正手段を介して意図的に後者の露光装置の投影光学系の倍率を微調整するか、あるいはその投影光学系で所定の歪曲を発生させる場合もある。あるいは、ウエハ上に塗布されているフォトリソグロ等の感光剤（感光材料）の特性に合わせて、その結像特性補正手段を介して意図的に投影光学系で球面収差等を発生させることもある。

【0004】 一方、結像特性の補正方法としては、例えばフォトリソグロ又はレチクル（以下、一例として「レチクル」を使用する）と投影光学系との間隔を変化させる方法、投影光学系を構成する所定のレンズ素子の間隔を変化させる方法、又は所定のレンズ素子間の空気室の圧力を変化させる方法等が実用化されている。また、照明光を短波長化してより微細なパターンの露光を行うため、照明光源としてエキシマレーザ光源を使用した露光装置の実用化が進められている。エキシマレーザ光源の発振波長は、例えば KrF エキシマレーザで 248 nm 付近、ArF エキシマレーザで 193 nm 付近であり、従来の水銀ランプの輝線（例えば波長 365 nm の i 線）と比べて短波長である。

【0005】 しかしながら、エキシマレーザ光のような短波長領域では、透過率の高い硝材が石英及び蛍石のみで十分な色収差補正ができないため、その波長域を更に狭帯化しその中心波長が一定となるような制御を行っている。これを逆に利用すると、そのように波長域を狭帯化した上で中心波長を微妙に変化させることにより、投影光学系の結像特性を変化させることが可能である。そこで、照明光源としてエキシマレーザ光源を用いた露光装置に対しては、エキシマレーザ光源の発振波長を変化させて結像特性を補正する方法が提案されている（例えば特開昭 60-214334 号公報参照）。この方法においては、他の従来の方法に比べ、投影光学系に駆動機構等を装着することなく、簡単な機構で結像特性を変化させ得るという利点がある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 上記の如き従来の結像特性の補正方法の中で、短波長域で狭帯化された照明光

の中心波長を変化させる方法によれば簡単な機構で結像特性を補正できる。しかしながら、そのように照明光の中心波長を変化させると、波長の変化に伴って以下のような不都合が生じてくる。

【0007】先ず、ウエハ上に塗布される感光剤の分光感度特性が、エキシマレーザ光のような短波長領域では波長が僅かに変化するだけでも敏感に変化する特性であるため、照明光のウエハに対する照射エネルギーが同一となるように露光を行っても、その照明光の波長により感光剤に対する実質的な露光量が増減し、現像処理後のパターン線幅を高精度に管理できないという不都合がある。また、投影露光装置においては、ウエハに対する露光量を制御するために、照明光学系中において照明光の一部をビームスプリッターにより分離し、分離した照明光をインテグレートセンサと呼ばれる光電センサに導いて露光中の照明光の積算露光量をモニタする露光量制御系が備えられている。しかしながら、この場合に使用されるビームスプリッターの反射率（あるいは透過率）にも波長依存性があり、更にインテグレートセンサの光電変換効率にも波長依存性があるため、照明光の波長を変化させた場合に照明光の積算露光量が高精度にモニタできないという不都合もあった。

【0008】この他に、従来の投影露光装置では、投影光学系の照明光吸収による結像特性の変化を補正するため、照射量モニタと呼ばれる光電センサにより投影光学系に入射する照明光のエネルギー量を測定している。この測定系においても、照射量モニタの波長依存性による誤差、あるいは投影光学系の照明光の吸収率の波長依存性により、照明光吸収による結像特性の変化量の計算誤差が生じ、補正精度が悪化するという不都合があった。

【0009】本発明は斯かる点に鑑み、照明光の波長を変化させることにより、所定の結像特性を所定量だけ変化させる場合に、露光装置として必要な他の結像特性又は露光量制御精度を悪化させることがない投影露光装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の投影露光装置は、例えば図1に示すように、照明光を生成する光源（1）と、その照明光でマスクパターン（R）を照明する照明光学系（2～6）と、マスクパターン

（R）の像を感光剤が塗布された基板（W）上に投影する投影光学系（PL）と、光源（1）で生成される照明光の波長を変化させる波長可変手段（9、11、12、23）と、を有し、投影光学系（PL）の所定の結像特性を変化させるためにその波長可変手段を介してその照明光の波長を変化させる投影露光装置において、その感光剤の分光感度特性を入力する感度特性入力手段（27）と、この感度特性入力手段により入力された分光感度特性、及びその波長可変手段により設定されたその照明光の波長に基づいて基板（W）への露光量を制御する

露光量制御手段（4、14、22、24）とを設けたものである。

【0011】この場合、その露光量制御手段の一例は、その照明光学系中でその照明光の一部を分離する光束分離手段（4）と、この光束分離手段により分離された照明光を光電変換する光電検出手段（14）と、光束分離手段（14）の波長毎の光束分離特性を入力する分離特性入力手段（27）と、この分離特性入力手段により入力された光束分離特性、及びその波長可変手段により設定されたその照明光の波長に基づいて、光電検出手段（14）で検出された光量を補正する演算手段（24）と、を有するものである。

【0012】また、本発明の第2の投影露光装置は、例えば図1に示すように、照明光を生成する光源（1）と、その照明光でマスクパターン（R）を照明する照明光学系（2～6）と、マスクパターン（R）の像を感光剤が塗布された基板（W）上に投影する投影光学系（PL）と、光源（1）で生成される照明光の波長を変化させる波長可変手段（9、11、12、23）と、を有し、投影光学系（PL）の所定の結像特性を変化させるためにその波長可変手段を介してその照明光の波長を変化させる投影露光装置において、投影光学系（PL）のその所定の結像特性と異なる結像特性を補正する結像特性補正手段（13、21、25、16、20）と、その照明光が投影光学系（PL）を通過することによる、その結像特性補正手段により補正対象とされる投影光学系（PL）の結像特性の波長毎の変化量の特性を入力する分光特性入力手段（27）と、この分光特性入力手段により入力された投影光学系（PL）の結像特性の波長毎の変化量の特性、及びその波長可変手段により設定されたその照明光の波長に基づいて、結像特性補正手段（13、21、25、16、20）を介して投影光学系（PL）の結像特性を補正する制御手段（22）と、を設けたものである。

【0013】

【作用】斯かる本発明の第1の投影露光装置においては、投影光学系（PL）の結像特性の内の例えば倍率を所定量だけ調整するために、波長可変手段を介して照明光の波長を変化させる。このように照明光の波長を変化させると、基板（W）上の感光剤の感光感度も変化する。そこで、予め照明光の波長の変化に対する感光剤の感光感度の変化を計測して記憶しておき、感度特性入力手段（27）からその照明光の変化した後の波長におけるその感光剤の感光感度（適正露光量）を入力し、露光量制御手段ではその入力された感光感度に応じてその感光剤への積算露光量を制御する。これにより、照明光の波長を変えた場合でも、その感光剤に最適な積算露光量を与えることができる。

【0014】また、露光量制御手段が照明光学系中で照明光の一部を分離する光束分離手段（4）と、そのよう

に分離された照明光を受光する光電検出手段(14)とを有する場合、照明光の波長が変化するとその光束分離手段(4)における例えば反射率(又は透過率)も変化することがある。そこで、予め照明光の波長が変化した場合の光束分離手段(4)における反射率特性を変化を計測しておき、分離特性入力手段(27)からその照明光の変化した後の波長におけるその光束分離手段(4)での反射率を入力し、演算手段(24)では光電検出手段(14)からの出力信号をその変化後の反射率を用いて補正することにより、基板(W)に対する正確な積算露光量を求める。これにより、照明光の波長を変えた場合に、光束分離手段(4)での反射率等が変化しても、その感光剤に最適な積算露光量を与えることができる。

【0015】更に、光電検出手段(14)における光電変換効率が照明光の波長により変化する場合にも、予めその光電変換効率の波長依存性を計測しておき、照明光の波長に基づいてその光電検出手段(14)の出力信号を補正することにより、より正確に基板(W)上の感光剤に対する積算露光量を検出できる。次に、本発明の第2の投影露光装置においても、投影光学系(PL)の結像特性の内の例えば倍率を所定量だけ調整するために、波長可変手段を介して照明光の波長を変化させる。ところが、このように照明光の波長を変化させると、投影光学系(PL)の他の結像特性、例えばディストーションも変化することがある。そこで、結像特性補正手段によりそのディストーションの変化分を相殺するように、そのディストーションを補正する。このためには、予め照明光の波長が変化した場合のディストーションの変化量を計測又は計算して記憶しておき、分光特性入力手段(27)からその照明光の変化した後の波長におけるディストーションの値を入力し、結像特性補正手段ではその入力されたディストーションに応じてディストーションを補正する。これにより、照明光の波長を変えて或る結像特性を変化させた場合に、他の結像特性が連動して変化することが防止される。

【0016】

【実施例】以下、本発明による投影露光装置の一実施例につき図面を参照して説明する。図1は、本実施例の投影露光装置の概略的な構成を示し、この図1において、エキシマレーザ光源1は波長帯域が予め定められた帯域に狭帯化されたもので、その中心波長も厳密に制御されている。本実施例においては後述するように、エキシマレーザ光源1の発振波長の中心波長を必要な領域内において、任意に制御できる構造になっている。

【0017】エキシマレーザ光源1から射出されるパルスレーザビームよりなる照明光ILは、光路を開閉するシャッタ2を経て照度分布均一化光学系3に入射する。照度分布均一化光学系3は、入射する照明光の断面形状を所定形状に設定するビームエクspand、及びその所定の断面形状の照明光から多数の2次光源を形成するフ

ライアイレンズ、及び照明系開口絞り等より構成されている。照明系開口絞りの設置面は、投影光学系PLの瞳面(フーリエ変換面)と共役であり、通常の露光ではその照明系開口絞りの開口は円形に設定される。また、輪帯照明を行う場合には、その照明系開口絞りの開口を輪帯状とすればよく、所謂変形光源法を適用して周期的パターンに対する解像力を向上させる場合には、その照明系開口絞りの開口を光軸に対して偏心して配置された複数個(例えば4個)の小開口から構成すればよい。

10 【0018】次に、照度分布均一化光学系3から射出された照明光ILは、一部の光線を反射するビームスプリッター4に入射する。その照明光の一部がビームスプリッター4に反射されて光電センサよりなるインテグレートセンサ14に入射し、ビームスプリッター4を透過した大部分の照明光ILは、リレー光学系5A、ミラー6及びコンデンサーレンズ5Bを介して均一な照度でレチクルRを照明する。リレー光学系5A内のレチクルRのパターン形成面と共役な面に可変視野絞り(レチクルブラインド)が設置され、この可変視野絞りによりレチクルR上での照明領域が規定される。

20 【0019】また、レチクルR側からの反射光は、コンデンサーレンズ5B、ミラー6、及びリレー光学系5Aを介してビームスプリッター4に戻り、ビームスプリッター4で反射された光が光電センサよりなる反射率モニタ13に入射する。インテグレートセンサ14の出力信号は、後述する露光量制御及び結像特性補正に用いられ、反射率モニタ13の出力信号は結像特性補正に用いられる。

30 【0020】レチクルRは、ガラス基板上に回路パターン等が描かれた原版であり、レチクルホルダ7上に真空吸着されて保持されている。レチクルRは、不図示のレチクルアライメント系により装置本体に対して位置合わせがなされる。レチクルRから射出される光は、投影光学系PLを介してフォトレジストが塗布されたウエハW上に、レチクルR上のパターンを1/5又は1/4に縮小した像を結像する。また、本実施例の投影光学系PLは、レチクルR側から順にレンズエレメント17、レンズエレメント18、…を配置して構成され、レンズエレメント18が保持されている鏡筒上に、電歪素子(ピエゾ素子)、磁歪素子等の伸縮自在な3個又は4個のレンズ駆動素子16を介して鏡筒15が取り付けられ、鏡筒15内にレンズエレメント17が収納されている。本実施例においては、後述のように結像特性制御系25がレンズ駆動素子16を伸縮させてレンズエレメント17を駆動することにより、投影光学系PLの結像特性を補正する。

40 【0021】ウエハWは、ウエハホルダ8上に真空吸着され、このウエハホルダ8がウエハステージWS上に保持されている。投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な2次元平面の直交座標系をX軸及

びY軸とすると、ウエハステージWSは、投影光学系PLの最良結像面に対して任意方向にウエハWを傾斜させるレベリングステージ、Z方向にウエハWを微動させるZステージ、及びステップ・アンド・リピート方式でXY平面内でウエハWを移動させるXYステージ等から構成されている。ウエハW上の1つのショット領域に対するレチクルRの転写露光が終了すると、ウエハステージWSをステップ移動することにより、ウエハW上の次のショット領域が投影光学系PLの露光領域に設定される。

【0022】なお、近年ではレチクルRをスリット状に照明し、レチクルRとウエハWとを相対的にスキャンすることにより、投影光学系PLの本来の露光領域より広い範囲にレチクルのパターンを露光できる所謂ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置も提案されている。本発明はステッパー型の投影露光装置のみならず、そのようなステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置にも同様に適用でき同様の効果が期待できるものである。

【0023】図1において、ウエハステージWS上には、光電センサよりなる照射量モニタ21が、その受光面がウエハWの表面と高さがほぼ一致するように設けられている。照射量モニタ21は、レチクルパターンの投影面積（ステップ・アンド・スキャン方式の場合ではスリット状の投影面積）とほぼ同じ面積の受光面を備えた光電センサより構成され、照射量モニタ21の出力信号は結像特性制御系25に供給されている。後述するように、照射量モニタ21の出力信号は結像特性補正に用いられる。

【0024】更に、図1中には投影光学系PLの最良結像面に向けて、ピンホールあるいはスリットの像を形成するための結像光束を光軸AXに対して斜め方向より供給する照射光学系19と、その結像光束のウエハWの表面での反射光束をスリットを介して受光する受光光学系20とから成る斜入射方式の焦点位置検出系が設けられている。これはウエハWの表面の投影光学系PLの結像面に対するZ方向の位置ずれ量（デフォーカス量）を検出し、ウエハWの投影光学系PLの結像面に対する合焦状態を検出するものである。受光光学系20はそのデフォーカス量に対応するフォーカス信号を生成して結像特性制御系25に供給する。

【0025】本実施例の初期状態では投影光学系PLの結像面が零点基準となるように、即ち、ウエハWの正面が結像面に合致しているときにそのフォーカス信号が0レベルとなるように、受光光学系20の内部に設けられた不図示の平行平板ガラス（プレーンパラレル）の角度が調整されている。結像特性制御系25は、不図示のウエハステージ駆動系を介してそのフォーカス信号が常に0になるように、ウエハステージWS中のZステージの高さを調整する。これによりオートフォーカスで露光が

行われる。また、本実施例ではその結像面の位置が変化した場合には、対応するオフセットの角度をその平行平板ガラスの角度に加え、その変化した位置にウエハWの表面が位置するときにフォーカス信号が0になるようにする。これにより、その結像面の位置の変動に追従して、オートフォーカスが行われる。そのように、受光光学系20内の平行平板ガラスの角度を補正することを、焦点位置検出系におけるオフセット補正と呼ぶ。

【0026】また、図1には、装置全体を統括制御する主制御系22が設けられ、主制御系22は、エキシマレーザ光源1の発振波長を制御する波長制御系23、ウエハWに対する露光量を制御する露光量制御系24、及び投影光学系PLの結像特性を常に最良に保つ結像特性制御系25の動作を各々制御すると共に、互いに情報の交換を行う。更に、投影光学系PLの周囲の大気圧、及び気温等を計測する環境センサ26が配置され、環境センサ26の出力信号が結像特性制御系25に供給されている。また、主制御系22には、エキシマレーザ光源1の発振波長に対する各種結像特性の変化量を示すデータ等を記憶するメモリ、及びオペレータが各種コマンドやデータを主制御系22に入力するためのキーボード26も接続されている。勿論、露光装置として機能するためには他にも種々の制御系が必要であるが、本発明に関係する制御系のみを示した。

【0027】次に、本実施例におけるエキシマレーザ光源1の発振波長の制御による結像特性の補正動作の一例につき図1を参照して説明する。補正対象とする結像特性としては、投影光学系PLによる投影像の収差の内で実使用上問題となる収差のみを考慮すればよく、結像特性の補正手段も補正対象となる収差に合わせて最良のものを選択すればよい。但し、各収差を独立に補正したい場合、補正対象とする収差の数と同数の補正手段が必要である。

【0028】本実施例においては補正対象とする結像特性として、投影光学系PLの投影倍率、歪曲（但し、等方的ディストーション、即ち所謂樽型及び糸巻型ディストーションを扱う）、及び最良結像面のZ方向の位置の3つを考える。そして、これらへの結像特性を独立に補正するための手段として、（A）エキシマレーザ光源1の発振波長、（B）投影光学系PL中のレンズエレメント17の位置、及び（C）焦点位置検出系（19、20）のオフセット補正を考える。これらの内、（C）の焦点位置検出系のオフセット補正に関しては、前記の通りであり、（A）及び（B）について以下に説明する。

【0029】まず、（A）のエキシマレーザ光源1の発振波長は、波長制御系23で制御する。本来エキシマレーザ光源の発振波長は、レーザ光源の温度等により変化し得るものであり、波長可変の必要性の有無に拘らず、発振波長を一定値に制御する場合でも波長制御系23は

必要である。さて、エキシマレーザ光源 1 は、レーザチューブ 10 の前後にビームスプリッター 11 及び波長狭帯化素子 9 を配置して構成され、レーザチューブ 10 から発振されてビームスプリッター 11 により分離された一部の光が波長モニタ 12 に導かれる。波長モニタ 12 は、プリズム又はグレイティングを用いてその光の波長を求め、求めた波長を波長制御系 23 に供給する。また、波長狭帯化素子 9 も、同じくプリズム、グレイティング又はエタロン等より構成され、レーザチューブ 10 で発振されるレーザ光を狭帯化するものである。

【0030】波長制御系 23 は波長モニタ 12 の出力に従って、エキシマレーザ光源 1 の発振波長が目標値となるように波長狭帯化素子 9 の角度等を制御している。波長制御系 23 による波長制御を行って結像特性を補正するときは、その発振波長の目標値を結像特性制御系 25 の計算値に従って変えてやればよい。エキシマレーザ光源 1 の発振波長が直ちに目標値に追従しない場合は、シャッタ 2 を閉じて、目標値に十分近づいてから露光を行えばよい。

【0031】次に、(B) の投影光学系 PL におけるレンズエレメント 17 の位置の制御は、レンズ駆動素子 16 により、レンズエレメント 17 を保持している鏡筒 15 を駆動することにより行う。本実施例では、光軸 AX 方向にレンズエレメント 17 を平行移動させるが、必要に応じて例えば台形状の像歪みの補正を行う場合等には、レンズエレメント 17 を傾斜させることも可能である。また、レンズ駆動素子 16 は、厳密な位置精度が要求されるため、レーザ干渉計、リニアエンコーダ、容量型位置センサ、又は差動トランスといった変位検出系の出力に従ってフィードバック制御を行うことが望ましい。

【0032】さて、投影光学系 PL による投影像の結像特性の変動要因としては、既に説明したように、大気圧変化、気温変化、投影光学系の照明光吸収、あるいは焦点位置検出系 (19, 20) における意図的なオフセット補正が考えられる。意図的なオフセット補正とは、受光光学系 20 中の平行平板ガラスの角度にオフセット補正を行って、ウエハ W の表面の Z 方向の位置 (フォーカス位置) を結像面の位置から故意にずらすことを言う。これにより、ウエハ W の表面にはレチクルパターンのデフォーカスされた像が投影される。

【0033】或る時点でのこれらの各変動要因による結像特性の変化量の合計の中で、倍率の変化量を ΔM 、歪曲の変化量を ΔD 、結像面の初期位置に対する結像面の位置ずれ量を ΔZ とする。また、(A) のエキシマレーザ光源 1 の発振波長の変化量を $\Delta \lambda$ 、(B) のレンズエレメント 17 の位置変化量を ΔL 、(C) の焦点位置検出系での故意のオフセット補正量を Δd とすれば、以下の式が成立する。

$$\text{【0034】} -\Delta M = C_{11}\Delta \lambda + C_{12}\Delta L \quad (1)$$

$$-\Delta D = C_{21}\Delta \lambda + C_{22}\Delta L \quad (2)$$

$$\Delta Z = C_{31}\Delta \lambda + C_{32}\Delta L + \Delta d \quad (3)$$

ここで、係数 $C_{11} \sim C_{32}$ は予め求めておく係数である。

例えば (1) 式及び (2) 式は、エキシマレーザ光源 1 の発振波長又はレンズエレメント 17 の位置を変えると、投影像の倍率及び歪曲が変化することを意味する。また、(3) 式は、エキシマレーザ光源 1 の発振波長又はレンズエレメント 17 の位置を変えてもそれに付随して結像面の位置が変化することを意味する。更に (3) 式は、焦点位置検出系での故意のオフセット補正量 Δd と $(C_{31}\Delta \lambda + C_{32}\Delta L)$ とを ΔZ に合わせることで、結像面に対するウエハ W の表面の位置ずれ量が 0 になることを意味する。

【0035】本実施例では、倍率の変化量の計算値 ΔM 、歪曲の変化量の計算値 ΔD 、及び結像面に対するウエハ W の表面の位置のずれ量 ΔZ の計算値を (1) 式～(3) 式に代入して、それら連立方程式を解くことにより、各々の補正量 $\Delta \lambda$ 、 ΔL 、及び Δd を求める。結像特性制御系 25 は、環境センサ 26 により計測された大気圧、及び気温の情報、並びに反射率モニタ 13、インテグレータセンサ 14、照射量モニタ 21 の出力信号より、倍率の変化量 ΔM 、歪曲の変化量 ΔD 、及び初期位置に対する結像面の位置ずれ量 ΔZ を計算し、

(1)、(2)、(3) 式より補正量 $\Delta \lambda$ 、 ΔL 、及び Δd を計算する。大気圧、気温に対しては ΔM 、 ΔD 、 ΔZ はそれぞれ比例関係にあると考えてよく、比例定数を前記の係数 $C_{11} \sim C_{32}$ と同様に予め実験又は計算によって求めてメモリ 27 に記憶しておけばよい。また、照明光吸収による結像特性の変化特性も予め求めてメモリ 27 に記憶しておく。これに関しては後述する。

【0036】以上がエキシマレーザ光源 1 の発振波長 (照明光 IL の波長) の制御による結像特性の補正動作の一例である。実際には、照明光の波長変化で他の収差 (例えば球面収差、湾曲等) も変化するが、これらの許容レベル内で波長を変化させればよく、仮にその他の収差が許容範囲を越える場合は、更にその収差の補正を行えばよい。これらの補正手段の組み合わせは本実施例に限定されず、投影光学系 PL の構成により最適の組合せが選択される。

【0037】さて、次に本実施例における露光量制御動作の一例につき説明する。一般にウエハ W に塗布されているフォトレジストの種類、あるいは現像の方法等により最適な露光エネルギー (積算露光量) が決定される。実際の露光エネルギーが最適な露光エネルギーからずれると、形成されるパターンの線幅が太すぎたり、細すぎたりして素子が不良になるため、露光エネルギーは厳密に制御する必要がある。一般に、露光エネルギーは、最適値に対して 1% 以下の精度で合わせる必要がある。

【0038】また、エキシマレーザ光源 1 はパルス発振のレーザ光源であり、パルス毎に微妙にパワーがばらつ

くため、露光時間あるいはパルス数で露光量を決定すると誤差が大となる。このため露光量制御系24は、インテグレートセンサ14により、エキシマレーザ光源1から発振される照明光のエネルギーを1ショット（1パルスの露光）毎に積算していき、積算露光量が必要な露光エネルギーに達したときに露光終了の信号を主制御系22に供給する。これにより、露光が終了する。なお、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置の場合は、レチクルRとウエハWとの相対走査速度によっても露光量が制御される。

【0039】図1において、ウエハW上での照明光のパワー（照射量モニタ21の出力信号）と、インテグレートセンサ14の出力信号との関係は、定期的にキャリブレーションを行うことにより予め求めておく。また、投影光学系PL、リレー光学系5A、及びコンデンサレンズ5Bの透過率に露光装置による差があっても、同一の露光エネルギーの設定量で、どの露光装置でも積算露光量が一致するように調整されている。また、前記の様に照度分布均一化光学系3により、レチクルRへの照明条件を変えた場合（例えば輪帯照明、変形光源等に変えた場合）、インテグレートセンサ14に入射する光の入射角度分布が変化し、ウエハWの表面でのパワーが同一であってもインテグレートセンサ14の出力が変化する。そこで、照明条件毎に上記の照射量モニタ21の出力信号とインテグレートセンサ14の出力信号との関係を求めるキャリブレーションを行っておき、照明条件に応じた係数を用いる。これにより、照明条件を変更した場合でも、積算露光量を同一に設定することにより、どの露光装置でも最適な露光エネルギーで露光が行われ、異なる露光装置間での互換性が確保される。

【0040】また、上述のようにエキシマレーザ光源1の発振波長が変化すると、ウエハW上のフォトレジストの感光感度そのもの、インテグレートセンサ14の感度（光電変換効率）、及びビームスプリッター4の反射率が変化するため、何等補正を行わないと露光量制御誤差となる。これを避けるため、露光装置側のインテグレートセンサ14及びビームスプリッター4に関しては、それぞれ装置製造時に予め入射する光の波長による光電変換効率及び反射率の特性を調べておき、波長毎の補正係数をメモリ27に記憶しておく。

【0041】図2の曲線31は、入射する光の波長 λ [nm]と、インテグレートセンサ14でのエネルギー変換効率Cとの関係の一例を示し、その曲線31が予め計測されて記憶される。インテグレートセンサ14は、通常シリコン・フォトダイオード（SPD）より構成され、入射する光量[W]に対し、出力信号は電流[A]となるため、変換効率Cの単位は[A/W]で表せる。また、波長 λ は本来の波長 λ 。（例えばKrFエキシマレーザでは248nm、ArFエキシマレーザでは193nm）に対し、波長の必要な可変幅 $\Delta\lambda$ を露光量制

御系24内の記憶部（又はメモリ27）に記憶しておく。ビームスプリッター4の反射率に関しても同様に記憶しておく。

【0042】それ以外に、予めインテグレートセンサ14とビームスプリッター4との特性とを合わせたもの、即ちビームスプリッター4の反射率の変化を考慮したインテグレートセンサ14の光電変換効率を記憶しておいてもよい。但し、ビームスプリッター4の反射率は前記の様に照明条件によって変わってくるため、必要な照明条件毎に測定して係数を記憶する必要がある。これにより照明条件を切り換えて使う場合でも、正確に露光量の測定が行える。以上のように予め計測して記憶し、実際に使用するときに記憶された係数を呼び出して、結像特性制御系25においてインテグレートセンサ14の出力信号を補正することにより、エキシマレーザ光源1の発振波長が変更されても、常に正しい積算露光量（ウエハWの表面上での照明光の積算されたパワー）を求めることができる。

【0043】次に、ウエハW上のフォトレジストの分光感度特性について説明する。フォトレジストの感光感度は理想的には波長によらず一定であることが望ましいが、現実にはそのフォトレジストの透過率が波長により変化することから、感光感度も波長により変化して一定ではない。現在までに開発されているエキシマレーザ用のフォトレジストは、その感光感度の中心波長が透過率のピークとなっておらず、中心波長付近では波長の僅かな変化に対して透過率が大きく変化する。例えば波長変化に対する透過率の変化の割合は4%/nmである。

【0044】図3の曲線32は、照射される照明光の波長 λ に対するフォトレジストの感光感度を中心波長 λ_0 での値を基準とした感度比で表したものであり、中心波長 λ_0 付近でフォトレジストの感光感度はほぼ線形に変化している。この変化の割合は、レーザ光の波長の変化により結像特性の補正を行う上でも無視できず、例えば中心波長 λ_0 において感光感度のデータ取りをして最適な露光エネルギーを求めても、波長 λ が変化すると最適な露光エネルギーが変化していき、微妙な細幅制御に悪影響を及ぼす。このため、フォトレジストの感光感度に対しても、予め波長による特性の変化（分光感度特性）を求めて補正を行う。補正を行うデータは、例えばレジストメーカの発表した特性値でもよいが、予め本実施例の露光装置、つまりレーザ波長を可変にでき、且つ、波長によらず正確に露光エネルギーを求められる露光装置において、実際にデータ取りをして、特性を求めることもできる。この方法を用いれば、露光装置側の分光特性を補正しなくてもフォトレジストの分光感度特性を、露光装置の分光特性を含んだ形で測定できるので、露光装置側の分光特性は補正する必要はない。しかし、ある露光装置でデータ取りをして決めた最適な露光エネルギーのデータが、他の露光装置ではそのまま使えない場合が

出てくるので、露光装置側でも分光特性を補正するのがより望ましいと言える。

【0045】また、フォトレジストは常に一種類のみを使用するとは限らないし、また新たなフォトレジストが開発される場合もあるため、露光装置では複数のフォトレジストの分光感度特性のデータを記憶する必要がある。また、同一のフォトレジストでも、プロセスあるいは露光パターンにより分光感度特性が異なって見える場合は、その条件毎に記憶する必要がある。記憶する際は、例えば図3に示すように、中心波長での感光感度に対する感度比の形で記憶すればよい。

【0046】以上のように露光量制御系24は、例えばオペレータがキーボード26を介して設定した露光エネルギー、又はメモリ27に記憶されている露光エネルギーに対し、露光装置側の分光特性、レジストの分光感度特性を各々補正する。これにより、エキシマレーザ光源1の発振波長によらず、ウエハW上の各ショット領域で常に最適な露光エネルギーが得られる。

【0047】次に、本実施例におけるエキシマレーザ光源1の発振波長への依存性を考慮して、投影光学系PLの照明光吸収による結像特性の変化を補正する動作の一例につき説明する。まず、通常の場合の補正法を簡単に説明する。この際には、投影光学系PLに入射するエネルギーを求めるため、レチクルRの透過率を照射量モニタ21にて測定する。具体的に、レチクルRがないときの照射量モニタ21の出力と、そのときのインテグレートセンサ14の出力との比を装置定数としてメモリ27に記憶しておく。この比にも波長依存性はあるが、レチクルRの透過率の測定であるため、常に中心波長 λ_c で計測を行うことにしておけば、波長依存性は考慮する必要がない。

【0048】次に、実際に使用するレチクルRを設置した状態で、同様に照射量モニタ21の出力とそのときのインテグレートセンサ14の出力との比を測定する。この比と、レチクルがないときの比とを比べることによりレチクルRの透過率を求める。この場合、常にインテグレートセンサ14の出力をみているのは、エキシマレーザ光源1のパルス発光当りの光強度が一定でないためである。レチクルRの透過率は露光動作直前に測定してもよいし、予め測定して記憶しておいてもよい。次に、実際の露光時には、インテグレートセンサ14の出力を常にモニタし、その出力とレチクルRの透過率とを掛け合わせることで、投影光学系PLに入射するエネルギーを刻々と知ることができる。

【0049】投影光学系PLには、更に露光中ウエハWにより反射された照明光も入射する。この反射光に関しては、反射率モニタ13により知ることができる。反射率モニタ13の出力には、ウエハWからの反射光に基づく信号の他に、レチクルR等からの反射光に基づく信号も含まれ、直ちにウエハWの反射率を知ることはできな

いが、以下の方法により求めることができる。即ち、図1のウエハステージWS上に、予め反射率が分かっている2つ以上の基準反射部を設けておき、それら反射部からの反射光を反射率モニタ13で検出したときの出力信号を基準にウエハWの反射率を求める。

【0050】図4を参照してその方法につき説明する。図4の横軸は照明光を反射する物体の反射率 r を示し、図4の縦軸はその物体からの反射光を受光した場合の反射率モニタ13の出力信号 I を示し、基準反射部の既知の反射率を r_1 、及び r_2 とし、レチクルRを載置した状態でそれら基準反射部からの反射光を反射率モニタ13で受光した場合の出力信号を、各々 I_1 及び I_2 とする。これにより、直線33が求められる。この直線33上で、実際の露光時の反射率モニタ13の出力信号を I_r とすれば、このときのウエハWの反射率は r_r として求められる。ここでは説明を省略したが、実際はここでもインテグレートセンサ14の出力信号との比を求め、エキシマレーザ光源1のパルス発光毎の発光エネルギーのばらつきを補正しなければならない。このように、反射率 r_r が求められると、投影光学系PLに入射する総エネルギーTEは、次のように算出される。

【0051】 $TE = (\text{レチクルRの透過率}) \times (\text{インテグレートセンサ14の出力}) \times (1 + r_r)$ (4)

入射する総エネルギーに対する結像特性の変化特性は、予め実測により求めて結像特性制御系13内の記憶部（又はメモリ27）に記憶されている。結像特性の変化特性は一般にエネルギーが投影光学系PLの内部に蓄積されていく現象であり、この現象は微分方程式等で表すことができ、結像特性制御系13内部で微分方程式等の数学モデルを演算しながら、変化特性を刻々と求めて補正を行う。これらの変化特性は、照明条件により変化するので、照明条件に応じた変化特性をそれぞれ記憶している。

【0052】この場合、エキシマレーザ光源1の発振波長を変更すると、反射率モニタ13、インテグレートセンサ14、及びビームスプリッター4の分光特性により、入射エネルギーが正しく求められなくなる。更に、投影光学系PLへの入射エネルギーに対する結像特性の変化特性も変わる可能性がある。また、ウエハW及び基準反射面の反射率の波長毎の分布（分光特性）によっても、投影光学系PLへの入射エネルギーが変化する。そこで本実施例では、露光量制御を行う場合と同様に上述の分光特性を考慮した補正を行い、そのような入射エネルギーの計算誤差を少なくする。

【0053】具体的に、露光量制御の場合と同様に、反射率モニタ13、インテグレートセンサ14、及びビームスプリッター4の分光特性をメモリ27に記憶させる。これに加えて、基準反射面の反射率 r_1 、 r_2 が波長により変化する場合は、この変化特性も記憶する必要がある。これにより、入射エネルギーが正しく求められ

ようになる。この状態でエキシマレーザ光源 1 の発振波長を変更して実測を行うことにより、結像特性の変化特性を求めることができる。但し、結像特性の変化特性は露光装置固有のもので、他の露光装置との互換性は必要ないため、インテグレートセンサ 14 の出力の波長補正は行わず、直ちに実測を行ってインテグレートセンサ 14 の出力特性を含んだ特性を求めて記憶してもよい。一方、反射率モニタ 13 は反射率を求めるため補正が必要である。勿論、照明条件毎に特性を記憶する必要がある。以上の動作により、照明光吸収による結像特性の変化を補正する際に、エキシマレーザ光源 1 から射出される照明光の波長が変化しても、常に良好な補正を行うことができる。

【0054】以上、露光量制御、及び照明光吸収による結像特性の変化に対する補正の 2 点につき、照明光の波長が変更された場合の補正方法を説明してきたが、その他の制御又は補正についても照明光の波長の変更に応じた補正を行う場合には、上記方法と同様の方法を適用できる。これらの制御又は補正の例としては、例えば像面の照度むらの変化に対する補正、照明光吸収により発生するレチクル膨張又はウエハ膨張の補正、及びアライメント系と露光像との位置関係（所謂ベースライン）の補正等が考えられる。これらについても並行して照明光の波長の変化に応じた補正を行うことにより、照明光の波長変化によらず常にウエハ W 上にレチクル R のパターンを最良の状態で露光できる。

【0055】なお、本発明は上述実施例に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0056】

【発明の効果】本発明の第 1 の投影露光装置によれば、所定の結像特性の補正のために照明光の波長を変更した場合においても、その変更後の波長における感光剤の感光感度に基づいて露光量を制御することにより、露光量制御精度が悪化することがなくなる利点がある。

【0057】また、露光量制御手段中の光束分離手段の波長毎の反射率（又は透過率）等の特性を用いて、照明光の波長が変更された場合に、光電検出手段で検出された光量を補正することにより、基板上の感光剤に対する露光エネルギーを正確に計測でき、露光量制御精度が向上する。更に、第 2 の投影露光装置によれば、照明光の *

* 波長を変えて第 1 の結像特性を変化させたときに、それに付随して第 2 の結像特性が変化した場合でも、変化後の照明光の波長に応じて結像特性補正手段を介してその第 2 の結像特性を補正することにより、第 1 及び第 2 の結像特性をそれぞれ良好な状態に維持できる。即ち、照明光の波長を変化させることにより、所定の結像特性を所定量だけ変化させる場合に、露光装置として必要な他の結像特性を悪化させることがない利点がある。

【図面の簡単な説明】

10 【図 1】本発明による投影露光装置の一実施例を示す一部を切り欠いた概略構成図である。

【図 2】図 1 のインテグレートセンサ 14 の光電変換効率の分光特性を示す図である。

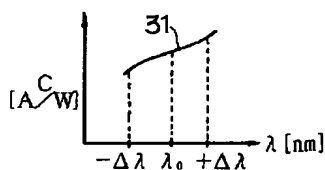
【図 3】実施例で使用されるフォトリソの感光感度の分光特性の一例を感度比の形式で示す図である。

【図 4】図 1 の反射率モニタ 13 の出力信号を用いて、ウエハ W の反射率を求める方法の説明図である。

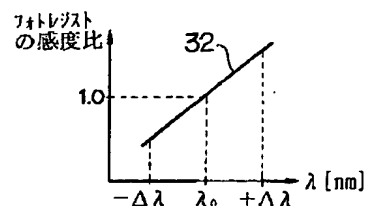
【符号の説明】

- 1 エキシマレーザ光源
- 2 シャッタ
- 3 照度分布均一化光学系
- 4 ビームスプリッター
- 5 A リレー光学系
- 5 B コンデンサーレンズ
- R レチクル
- PL 投影光学系
- W ウエハ
- WS ウエハステージ
- 9 波長狭帯化素子
- 30 10 レーザチューブ
- 12 波長モニタ
- 13 反射率モニタ
- 14 インテグレートセンサ
- 16 レンズ駆動素子
- 17 レンズエレメント
- 21 照射量モニタ
- 22 主制御系
- 23 波長制御系
- 24 露光量制御系
- 40 25 結像特性制御系
- 26 環境センサ

【図 2】



【図 3】



【図4】

